

マイクロ波導波管々壁の 表面損失の測定

齋藤 成文

1. 緒言

最近超短波技術のいちじるしい発展と共に波長 10 ㎞以下、周波数にして $3 \times 10^9 \sim (3000 \text{ Mc})$ 以上のいわゆるマイクロ波が無線通信、レーダー等に広く用いられるようになった。現在電通

省の電気通信研究所では波長 7.5 ㎞ (周波数 4000 Mc) のマイクロ波を多重電話中継用として実用化研究を行っており、放送協会でテレビジョン中継用としてマイクロ波の採用を目論むと共に、また聞くところによると本年中にはアメリカのテレビジョン装置の輸入と共にマイクロ波中継が実現することである。一方製造許可になった航海用レーダーに対しても各通信機メーカーがその試作に大奮の状況で、今やマイクロ波はある意味で電気通信界の一つのトピックになっている。

さてマイクロ波においてはその電力を伝送するのに通常の電線では損失が大きくなるので、導波管といつて中空の金属管 (通常短型断面のものが用いられる) の内を電磁波を送りこむ。また共振回路も損失を少くし選擇度を大きくするために空洞共振器とよばれる中空密閉金属體を用いる。これら導波管、空洞共振器いずれでも外周金属體の内面は電流が流れるため、その表面導電率が高くないとここにオーム損が生ずる。しかるにマイクロ波ではその電流は低周波の場合のように金属體の奥深く迄滲透せず、いわゆる表皮作用により金属體の極めて表面層にしか流れない。

例えば銅板を例にとると電流は大體表面より 10^{-4} cm (1 ミクロン) 程度の層にしか流れないのである。従つて導波管、または空洞共振器の構成金属、そのものの體積導電率はどうかとも、内面の表面導電率が損失に直接に影響し、表面状況例えば酸化物が附着しているとか、表面に凹凸があるとかが大きな効果をおよぼす。

現在普通に用いられている導波管、空洞共振器は銅または真鍮地金の上に導電率が大きいと考えられている銀をメッキしているが、その損失が理論値の約 2 倍から數倍 (等價表面導電率にして $1/4$ 以下) になつており、その原因が構成金属の表面状況によるのか、またはその機械的構造の不備、例えば歪曲、金属接合部の接觸不良等

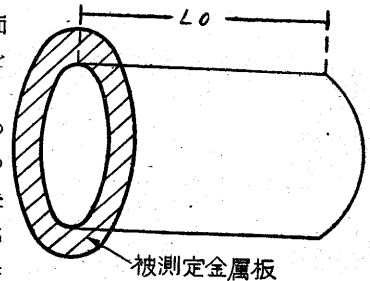
マイクロ波電流は導體の表皮のみを流れるから、導體表面の狀態が非常に導電率に影響する。表面に微細な凹凸があつても、酸化しても損失はぐつと増してくる。しからば如何なる材料を如何に處理すれば表面損失を軽減しえるのであろうか? そしてその測定法は?

によるのか問題になつていた。筆者は金属板自身の表面損失をそれ單獨に測定しこの點の解決を求め、將來の導波管、空洞共振器構成金属板の表面處理に對して若干の指針を得たので以下簡単に述べる事にする。なおこの研究に際しては電気通信

研究所の委託研究として完成した測定器を使用し、その金属板試料は島田理化工業より、また塗料は金属表面技術研究所より提供を受けたものである。

2. 測定原理および測定装置

第 1 圖に示すような中空圓柱型の空洞共振器の端面に被測定金属板を密着せしめると、その空洞共振器の選擇度 Q^* はその金属板の表面損失の多少により變化する。空洞共振器としては圓柱部と端面部の接觸が影

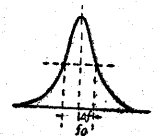


第 1 圖

響しない H_{01} 共振姿態を用い、その表面損失がそれぞれ銅の理論値に對して A_1, A_2 の相對値 (relative attenuation とよぶ) をもつ金属板を端面に密着した場合の Q をそれぞれ Q_1, Q_2 とすると

$$\frac{1}{Q_2} - \frac{1}{Q_1} = 0.955 \frac{\lambda_0^3}{L_0^3} (A_2 - A_1) \times 10^{-5} \quad (1)$$

の関係がある。ここに λ_0 は電波の自由空間波長、 L_0 は空洞共振器の共振軸長である。上式に實驗に用いた直径 12.5 cm の空洞共振器に對して $f_0 = 3986 \text{ Mc}$ 、 $L_0 = 5.524 \text{ cm}$ を代入し、 Q_1, Q_2 に對する共振曲線の周波数半値幅をそれぞれ $\Delta f_1, \Delta f_2$ とすると (1) 式は



附 圖

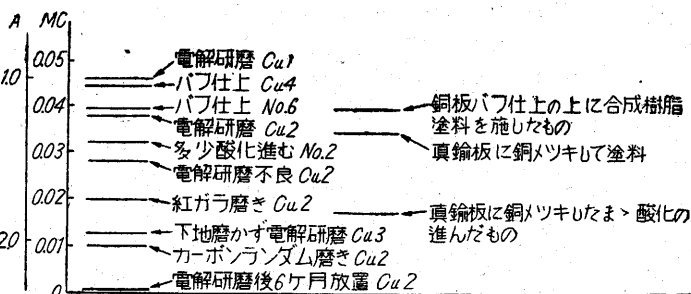
* Q は共振回路の鋭度を混わずるので、共振曲線を圖のようにとり、共振曲線の周波数半値幅 Δf 、共振周波数 f_0 とする Q は $f_c / \Delta f$ で與えられる。

$$\Delta f_2 - \Delta f_1 = 0.035(A_2 - A_1) Mc \quad (2)$$

となる。従つて周波數半値幅さえ測定すれば
 兩者の相對表面損失値 A_2, A_1 の差を知ること
 ができ、あらかじめ標準の表面損失値 A_1
 が既知なれば A_2 を求める事ができる。なお
 (2) 式から $A_2 - A_1 = 1.0$ の時 $\Delta f_2 - \Delta f_1$ は
 35 kc となることが知れる。

測定装置の系統圖を第 2 圖に示す通りで、
 鋸齒状波電壓によつて周波數變調されたクラ
 イストロンの出力 (周波數約 4000 Mc) は方
 向性結合器によつて 2 分され、その一つは導
 波管減衰器を通つて測定用空洞共振器に導か
 れ、他の一つは周波數較正用空洞共振器に送られる。兩
 共振器の檢波出力は增幅の後現象切換器によつて同時に
 ブラウン管上に出る。

ブラウン管は前記鋸齒状波によつて横軸が掃引されて
 いるので、測定用空洞共振器の出力圖形は第 2 圖に示す
 ように横軸を周波數とした共振曲線となる。一方周波數
 較正用空洞の出力は一度微分されているので同時のよう
 にその共振用波數の點でほとんど垂直線状をさす周波數
 目盛として現われる。従つて周波數較正用空洞共振器の
 共振周波數を變化する (空洞の内部に小型の棒を挿入し



第 3 圖

3. 測定結果

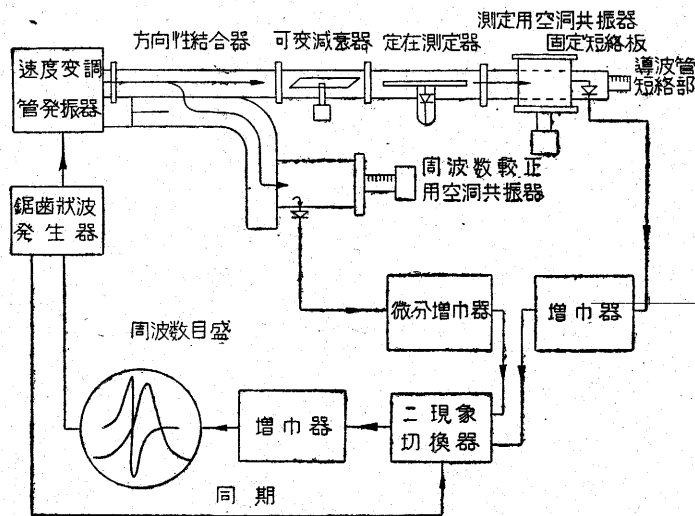
測定には空洞共振器附屬の銀メッキ短絡板を初め、種
 々の處理を行つた銅板、銀メッキ板 (銅、眞鍮地金) お
 よび眞鍮板について約 20 種の試料を用いた。なお測定
 の便宜上メッキ後數ヶ月を経て大體安定と考える空洞附
 屬の銀メッキ短絡板 (以下銀メッキふたと略稱する) を
 基準にとり、これと純銅の電解研磨した試料と十數回比
 較し相對損失値レベルの決定を行つた。

a) 銅板 銅板をバフ仕上げの後電解研磨したもの
 が最も損失少なく銀メッキふたとの半値幅差は 46 kc 少
 く出ており、現在のところこれ以上損失の
 少ない試料は與えられず、大體その表面損
 失は理論値に等しい、すなわち $A=1.0$ と
 考えられる。バフ仕上げだけのもの、紅ガラ
 磨きのもの、これらが酸化したもの等の數
 値を第 3 圖に銀メッキふたの式の半値幅差
 または A の直接目盛として示してあるが、
 處理が不充分の時、および酸化皮膜が生ず
 ると損失が増し、理論値の 2 倍以上にもな
 ることが知られる。

次に銅板に合成樹脂塗料 (メラミン系お
 よび鹽化ビニール系) を施したものはその
 膜の厚さ、均一度によつて異なるが、塗裝前
 に比して銅の理論値に比し 15~30% 低下
 を示すに過ぎない。また眞鍮地金に銅メッ
 キしたものもそのままでは長時間の放置に
 對して酸化がいちじるしいが、これに上記
 塗料を施したものはその損失が銅に對して

20~40% 増しの状態で 6 ヶ月放置に對しても極めて安
 定である。

b) 銀メッキ板 銀メッキ試料としては地金に銅お
 よび眞鍮を用い、これに直接銀メッキしたもの、他のメ
 ッキ例えば銅メッキ、ニッケルメッキ、水銀メッキ等を
 施し、その後銀メッキを行つたもの等數種類を測定し
 た。その結果地金の影響はあまり顯著ではないが、直接
 銀メッキを行うよりもニッケルメッキおよび銅メッキの



第 2 圖

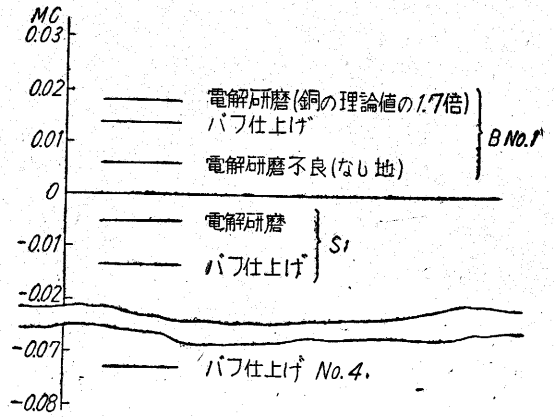
わずかに共振周波數を變化させる。棒の移動距離 1/100
 mm に對して 2.2 kc の變化となる) ことにより周波數
 目盛を移動せしめ、共振曲線の左右の 1/2 點と一致する
 時の前記棒の移動距離 (すなわち周波數較正用共振器の
 共振周波數の差) より周波數半値幅を簡單に求める事
 ができる。だから測定用空洞に被測定金屬板を密着して
 Δf を求め、次に標準金屬板に取換えて同じ操作を繰か
 えせば表面損失値の差をただちに求める事ができる。

後に銀メッキを行つたものの方が多少損失が少く、銀メッキふたとの差は 20 kc で、一般のものはふたとの差 5~+10 kc の間にあるものが多い。このように銀メッキについて特筆すべきは銀そのものの理論損失値に比して 70~130% 増しの實測値を得ていることである。ここに面白いことは銀メッキ直後アルカリ処理、熱湯洗滌の後数時間毎に測定を行つて見ると 2~3 時間後は理論値の 40% 増し程度のもので、時間と共に損失が増し、2~3 日後には 100% 増しまでに低下していることである。これらの原因に關しては將來の研究に待とうと思う。

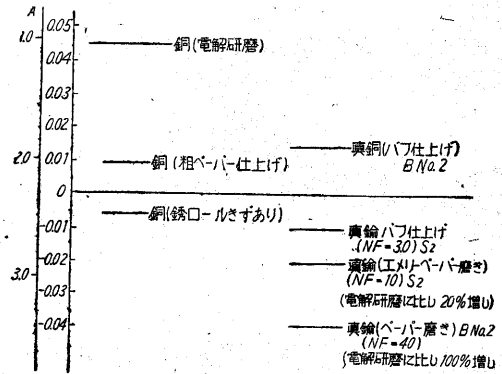
銀メッキ面に上記合成樹脂塗料を施したものはその損失は塗装前に比してほとんど變化なく、長時間の放置に對して極めて安定である。次に銀メッキ面の地金表面仕上の影響であるが、直接銀メッキを施す場合には相當影響が現われ、例えばペーパー磨きの上に銀メッキを施したものは理論値の 3 倍にもなる。しかし仕上面の上にニッケルメッキを施すとペーパー仕上でもバフ仕上でもほとんど影響はない。以上の關係を第 4 圖に示す。

c) 眞鍮板 眞鍮は合金であるためにその成分比によつてその損失にいちじるしい差があり、これらの關係を第 5 圖に示してある。

d) 金属表面粗度による影響 以上述べた金属板は特記以外のものはいずれもバフ仕上げ、またはその後に電解研磨を行つたもので、その表面の粗さは大體 1 ミクロンの數分の一以下の凹凸で、光學的粗度計による測定値は NF=3~5 のものである。そこで表面粗度の影響



第 5 圖



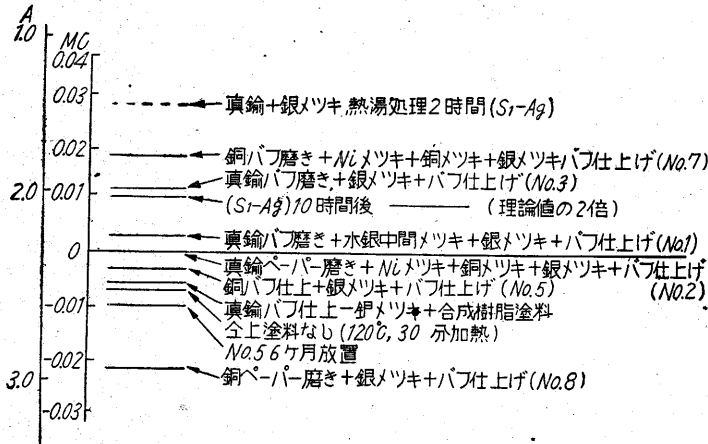
第 6 圖

程度に損失が増加することを知らる。

4. 結 言

以上導波管、空洞共振器構成金属板の表面損失の測定結果を述べたが要約すれば
 1) 銅板は研磨直後は最も損失が少ないが、長時間の放置に對して酸化のため損失が 2 倍程度に増加する。
 2) 銅板または銅メッキに樹脂塗料を施したものはその損失が銅の理論値の 20~40% 程度で 6 ヶ月の放置に對しても變化がない。
 3) 銀メッキはその損失が理論値の 70~130% 程度である。
 4) ペーパー仕上のものは一般に損失が増加する。バフ仕上なれば充分である。

なお以上の試料でもつて導波管を試作し、その傳送損失を測定したところ、金属體間の接觸部を電流が切らない箇所を選べば、上述の金属板損失より計算した値と極めてよく一致した。
 (27.2.27)



第 4 圖

を調べるためにペーパー仕上げ、紅ガラ仕上等を行つた。試料について測定を行つたが、その結果は第 6 圖に示す通りで、粗いペーパーで磨くと容易に理論値の 2 倍